Monochrome LCD's

U draagt ze rond uw pols, leest er uw kamertemperatuur op af en kijkt er op om de snelheid van uw auto te controleren: monochrome LCD's. Dank zij een vrij bizarre eigenschap van sommige kristallijne stoffen is men in staat gelijk welk symbool of pictogram duidelijk en zo goed als zwart af te beelden op een lichtgrijze achtergrond.

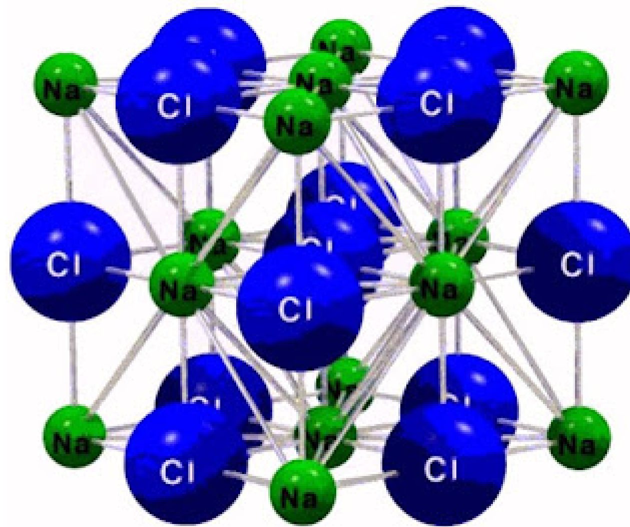
Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 25-10-2018

Fysische achtergronden

Inleiding
LCD is de afkorting van *'Liquid Crystal Display'*, letterlijk vertaald *'uitlezing met behulp van vloeibare kristallen'*. De term *'vloeibaar kristal'* slaat op een bepaalde uitzonderlijke fysische toestand van sommige stoffen. Wilt u de fundamentele werking van een liquid crystal display begrijpen, dan is het noodzakelijk eerst wat fysische achtergronden over het gedrag der materie te verduidelijken.

De drie aggregatie-toestanden
De meeste chemische stoffen kennen drie zogenaamde aggregatie-toestanden: vast, vloeibaar en gas. De overgang van de ene naar de andere toestand is afhankelijk van de druk en de temperatuur. Dat verschijnsel is in de dagelijkse praktijk het best bekend aan de hand van de meest verbreide chemische stof op aarde: H_20, gewoon water. Onder 0 °C is water vast en u noemt het dan ijs. Bij 0 °C gaat ijs smelten en neemt water zijn meest verbreide vorm aan, namelijk vloeibaar. Bij 100 °C gaat water koken en gaat over naar zijn gasvormige toestand, waterdamp. Zowel smelt- als kookpunt zijn (bij een gedefinieerde druk) duidelijk bepaald en deze twee gegevens vormen twee van de fundamenteelste eigenschappen van iedere stof.

Kristallen
In de vaste fase vormen de meeste stoffen kristallen. Dat betekent dat de moleculen waaruit de stof bestaat zich volgens strikt driedimensionale patronen ordenen in de stof. De enkelvoudige kristallen haken in elkaar en vormen zich in de ruimte periodiek herhalende kristalpatronen. Aan dit kristalpatroon danken vaste stoffen hun mechanische eigenschappen zoals hardheid of buigzaamheid, starheid of vervormbaarheid.
In onderstaande figuur is als voorbeeld een zeer eenvoudig kristalpatroon van een zeer bekende vaste stof getekend, namelijk keukenzout of natriumchloride NaCl. U ziet hoe de natrium- en chlooratomen onderling zijn gekoppeld en een stabiele, zeer stevige structuur vormen: het zoutkristal.

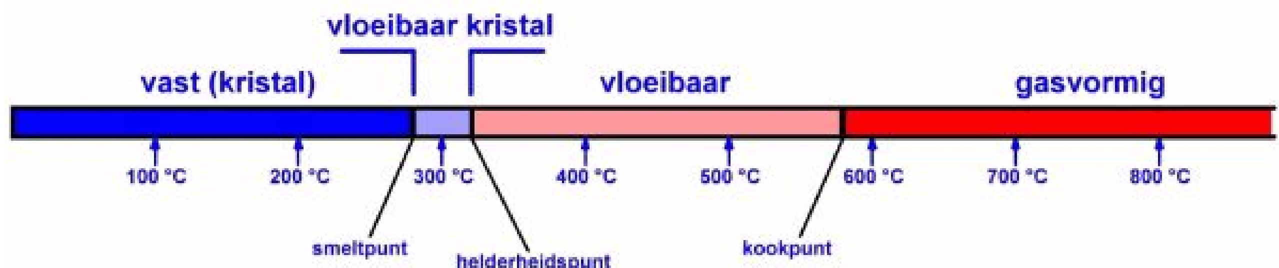


Het kristalrooster van keukenzout NaCl. (© Universiteit Twenthe)

Smelten
Bij het smelten van een vaste stof zullen de moleculen door de thermische energie uit hun kristalpatroon worden gestoten. De moleculen bewegen zich vrij door de stof, een beweging die de *'Brownse beweging'* wordt genoemd. Ondanks het feit dat de moleculen steeds tegen elkaar botsen is de thermische energie te laag om moleculen uit de stof te stoten. Hoewel de vloeistof zeer beweeglijk is vormt zij toch nog een compacte massa.

Koken
Het is maar eerst bij het kookpunt dat de Brownse beweging zo groot wordt dat moleculen door botsingen tegen soortgenoten uit de stof geslingerd worden. De vloeistof verdampt, de moleculen verlaten de compacte massa van de kokende vloeistof en bewegen zich vrij door de ruimte die de kokende vloeistof omgeeft.

De vierde aggregatie-toestand
Men heeft ontdekt dat er bepaalde organische verbindingen bestaan die een soort van vierde aggregatie-toestand kennen. Zoals uit onderstaande figuur blijkt bevindt deze zich tussen de vaste en de vloeibare fase en beslaat een gebied van maar enige tientallen graden. Deze toestand wordt *'het vloeibare kristal'* genoemd. In deze toestand zullen de moleculen hun kristalstructuren verlaten, maar zich nog niet ongestoord vrij door de stof bewegen. In de afbeelding wordt een stof voorgesteld waar de vierde aggregatie-toestand zich voordoet rond 300 °C. Met is er echter in geslaagd stoffen te maken waarbij deze toestand ontstaat bij 'normale' aardse temperaturen tussen -40 °C en +85 °C.



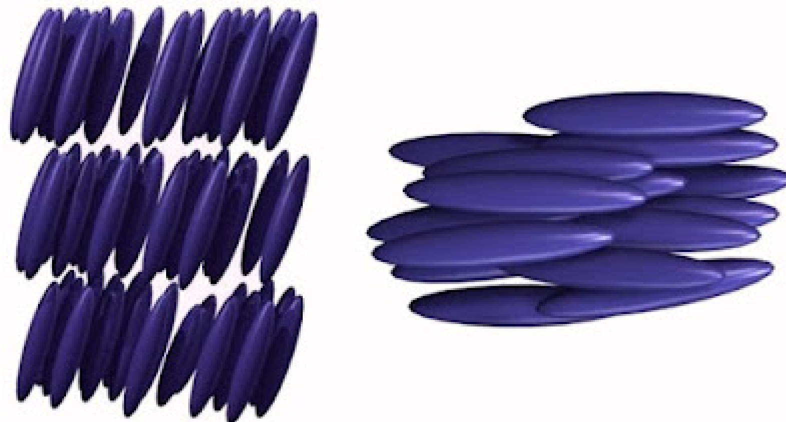
De positie van de vierde aggregatie-toestand. (© 2018 Jos Verstraten)

Diverse soorten fasen
Afhankelijk van het soort stof zullen de moleculen tweedimensionale structuren aannemen met een specifieke vorm. Met onderscheidt drie verschillende molecuulstructuren bij stoffen die deze vloeibare kristal fase kennen:
- Stoffen met smectische fase.
- Stoffen met nematische fase.
- Stoffen met cholesterische fase.

Stoffen met smectische fase

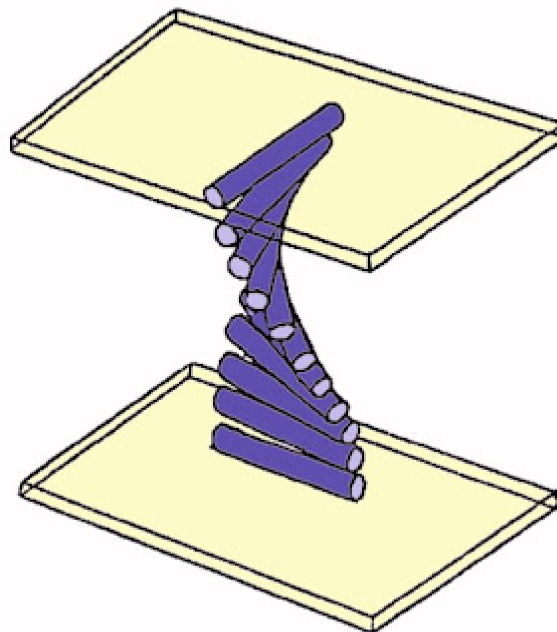
Bij deze stoffen zullen de moleculen zich in de vloeibare kristal fase groeperen in lagen, waarbij de lengte-assen van de moleculen allemaal evenwijdig staan.

Stoffen met nematische fase
Bij de nematische fase groeperen de moleculen zich in de lengterichting van de stof.



De positie van smectische (links) en nematische (rechts) vloeibare kristallen. (© harvard.edu)

Stoffen met cholesterische fase
Bij deze vloeibare kristallen zullen de moleculen zich laagsgewijs net zo gedragen als nematische vloeibare kristallen. Als u echter meerdere molecuullagen bekijkt, dan stelt u vast dat de lengte-assen van de moleculen in de verschillende lagen een bepaalde kleine hoek ten opzichte van elkaar vertonen. Er ontstaat in de derde dimensie van de materie een soort schroefvormige beweging in de lengterichting van de opeenvolgende molecuullagen. Een en ander is toegelicht in onderstaande figuur. In deze afbeelding is een draaiing van 90° voorgesteld. Bij de meeste materialen is deze draaiing echter veel groter, gemiddeld kan men spreken van vijf hele draaiingen per 10 μm stof.



De structuur van cholesterische vloeibare kristallen. (© 2018 Jos Verstraten)

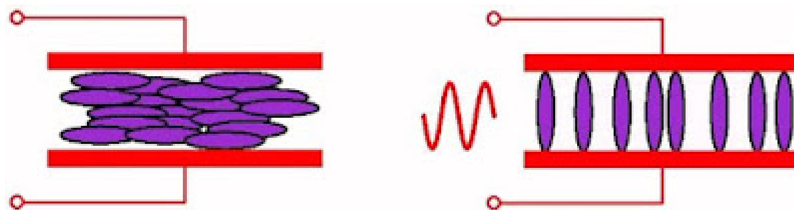
Eigenschappen van de vloeibare kristal fase
Zoals uit de twee vorige figuren blijkt is een belangrijke eis dat de moleculen langwerpig zijn. Alleen dan zullen de fasen van de vloeibare kristal toestand ontstaan. De getekende richting van de moleculen is een gemiddelde. Omdat de Brownse bewegingen al actief zijn in de stof en de molecuulbinding erg zwak is zullen de moleculen trillen rond de getekende gemiddelde posities. Vanwege deze zwakke molecuulbinding is het mogelijk de onderlinge uitlijning van de moleculen door middel van externe invloeden te verstoren. In het kader van liquid crystal display's zijn er twee externe invloeden van belang:

- Wisselwerking met geëtste glasplaatjes.

- Beïnvloeding door elektrische spanningen.

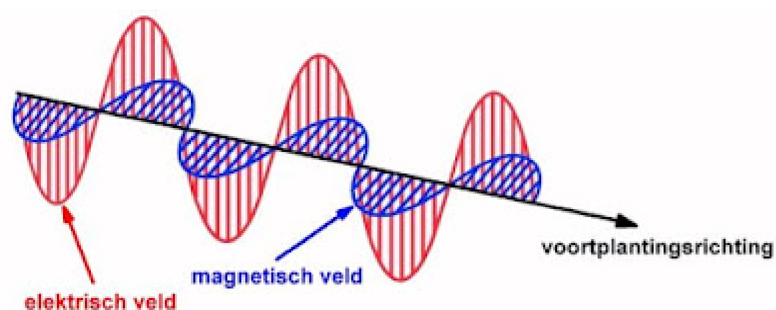
Wisselwerking met geëtste glasplaatjes
U kunt de uitlijning van de moleculen beïnvloeden door een zeer dunne laag van de stof op te sluiten tussen twee glazen plaatjes, waarvan het oppervlak op een bepaalde manier is behandeld. Etst u bijvoorbeeld op deze plaatjes een submicroscopisch patroon van evenwijdige lijntjes, dan zullen de moleculen van een vloeibaar kristallijne stof met nematische eigenschappen zich tegen de glazen plaatjes in dezelfde richting gaan uitlijnen als de geëtste lijntjes. Door de elasticiteit tussen de moleculen onderling zullen alle moleculen van de stof zich in deze richting uitlijnen. De Brownse beweging van de moleculen wordt daardoor onderdrukt, er ontstaat een dunne laag met homogeen uitgelijnde moleculen.
Op dezelfde manier kunt u ervoor zorgen dat de moleculen van een dunne laag cholesterische stof zich over precies 90° draaien. Daarvoor is het voldoende de twee glazen plaatjes te etsen met lijnpatronen die onder een hoek van 90° staan. Door de elasticiteit tussen de moleculen onderling zal er in de laag een homogene draaiing ontstaan tussen 0° en 90°.

Beïnvloeding door elektrische spanningen
Zet u over de in de vorige paragraaf geschetste sandwich-constructie een elektrische spanning, dan stelt u vast dat naarmate de spanning groter wordt de parallelle uitlijning van de moleculen van de vloeibaar kristallijne stof verstoord wordt. Hoe hoger de spanning, hoe groter de hoek die ontstaat tussen de glasplaatjes en de moleculen. Bij een bepaalde spanning zal de hoek zelfs gelijk worden aan 90°. Dit is voorgesteld in onderstaande figuur. De spanning moet echter een bepaalde drempel overschrijden alvorens er van enig effect op de moleculen sprake is. Dat is logisch, omdat de elektrische veldkrachten die op de moleculen worden uitgeoefend eerst de elasticiteitskracht tussen de moleculen onderling en tussen de moleculen en het lijnenpatroon in de glasplaatjes moeten overwinnen.



Invloed van een elektrisch veld op de uitlijning van de moleculen. (© 2018 Jos Verstraten)

Licht en vloeibaar kristallijne stoffen
Er moet nu nog één belangrijk fysisch gegeven behandeld worden alvorens de werking van liquid crystal display's duidelijk kan worden en dat is de aard van het licht en de manier waarop licht zich door stoffen voortplant. Zoals u waarschijnlijk wel weet is licht een elektromagnetisch golfverschijnsel. Dat wil zeggen dat er afwisselend elektrische en magnetische velden worden opgebouwd. Deze velden hebben een bepaalde richting en staan loodrecht op elkaar. Dit is schematisch voorgesteld in onderstaande figuur. In de vrije ruimte zullen deze onderling loodrecht gerichte velden er voor zorgen dat de golf zich rechtlijnig voortplant. Het is echter al lang bekend dat u de voortplantingsrichting van een elektromagnetische golf kunt beïnvloeden via de materie waarin de golf zich beweegt. De bekendste toepassing daarvan in de breking veroorzaakt door lenzen als een lichtgolf van de lucht binnendringt in het glas van de lens en nadien van het glas van de lens weer in de lucht.



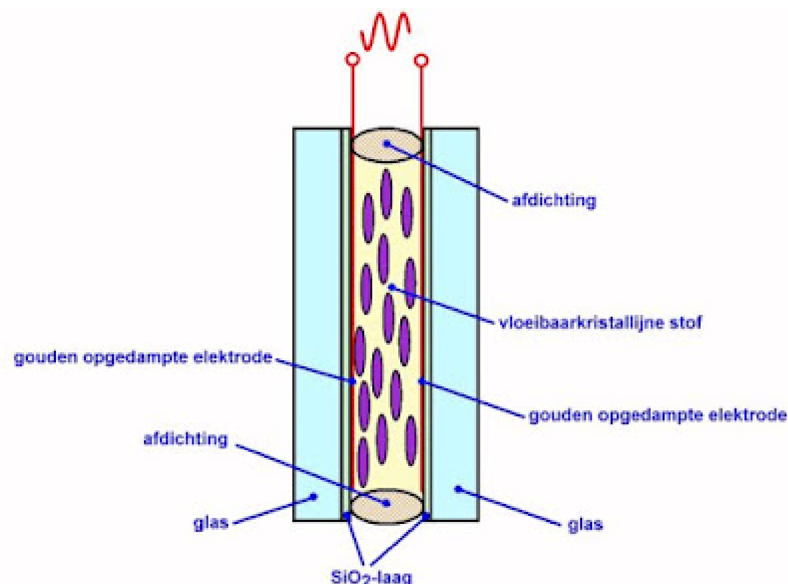
Lichtgolf in een vloeibaar kristallijne stof
Als een lichtgolf invalt in een stof met vloeibaar kristallijne eigenschappen zal de golf zich alleen kunnen verplaatsen langs en tussen de lange sigaarvormige moleculen. Zo zal een cholesterisch opgebouwde sandwich van twee glasplaten, die een draaiing in de moleculen heeft van 90°, er voor zorgen dat het golffront van een er doorheen bewegende lichtstraal deze draaiing van de lengte-as van de moleculen volgt. Met andere woorden: ook het golffront van de lichtgolf krijgt een fasedraaiing van 90°.
Als echter een lichtgolf door een vloeibaar kristallijne stof wil dringen waarin de lengte-assen van de sigaarvormige moleculen volledig verstrooid zijn in alle mogelijke richtingen, dan zal het licht volledig gedempt worden. De stof is dan niet langer transparant maar wordt ondoorschijnend. Dat is de reden waarom men de overgang van de vloeistof kristallijne naar de vloeistof fase het helderheidspunt noemt. Bij deze temperatuur zal de stof echt vloeibaar worden, de moleculen verliezen iedere onderlinge structuur en de lichtgolven worden door de willekeurig gerichte lengte-assen van de moleculen volledig in de stof verstrooid.

Liquid Crystal Display's

Verschillende soorten
Er bestaan twee praktische uitvoeringsvormen van liquid crystal display's:
- De nematisch LCD's.
- De cholesterisch of twisted nematisch LCD's.

Het zal nu wel duidelijk zijn waar deze namen op slaan.

Het nematisch LCD
Het nematisch liquid crystal display maakt, hoe kan het anders, gebruik van een vloeibaar kristallijne stof die nematische eigenschappen heeft. Deze stof wordt op de reeds beschreven manier aangebracht tussen twee voorbewerkte glazen plaatjes die op ongeveer 10 µm van elkaar staan. Een doorsnedetekening van een dergelijk liquid crystal display is getekend in onderstaande figuur.

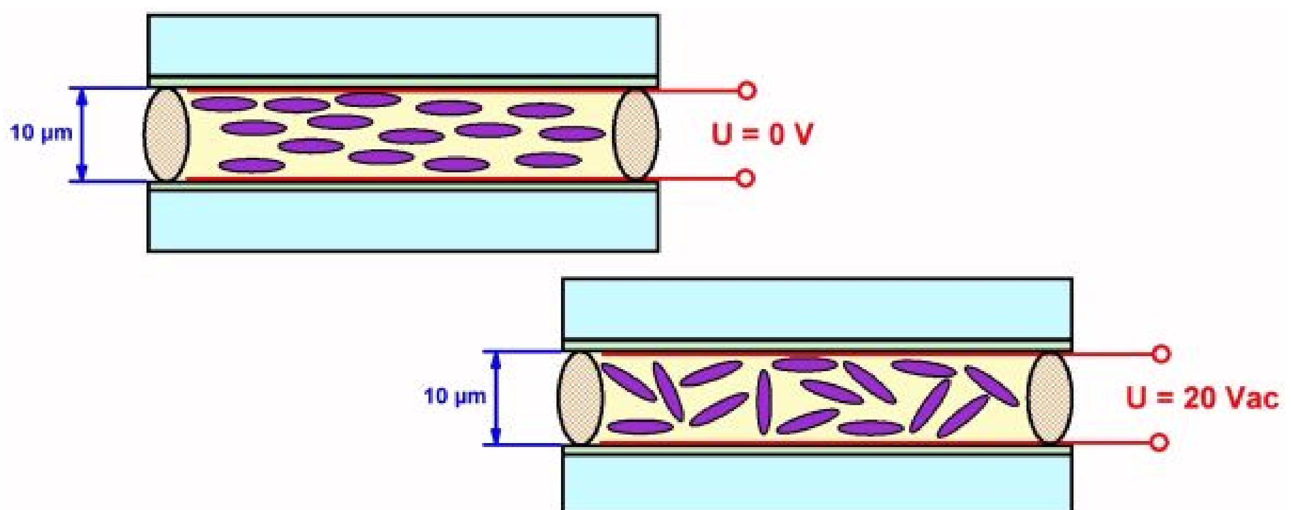


Dwarsdoorsnede door een nematisch LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

De glazen plaatjes zijn aan de binnenkant voorzien van een laag uit siliciumoxide SiO_2. In deze laag wordt het lijnenpatroon geëtst dat zorgt voor het uitlijnen van de moleculen. Bovendien zorgt deze laag ervoor dat er geen chemische reactie kan ontstaan tussen de verontreinigingen in het glas en de vloeibaar kristallijne stof. Op de laag SiO_2 worden de elektroden opgedampt. Deze bestaan uit een zeer dunne laag goud. Deze laag is zo dun dat

zij volledig transparant is.
Op een van de glazen platen (achterzijde van het LCD) wordt de gemeenschappelijke elektrode geëtst, het zogenaamde *'back-plane'*. Zoals bij de behandeling van de aansturing van liquid crystal display's zal blijken beschikken de meeste display's over meer dan een back-plane. In dat geval worden er op de achterste glazen plaat verschillende elektroden geëtst die op een specifieke manier met elkaar verbonden worden tot drie of vier groepen. Op de andere plaat wordt de vorm van de segmenten (zeven-segment display's) of de vorm van de pictogrammen geëtst.
Alle elektroden worden door middel van dunne gouden sporen verbonden met de connectoren aan de randen van het liquid crystal display. Eventueel wordt de buitenzijde van de glazen plaatjes voorzien van een reflecterende laag (achterzijde van het LCD) en van een anti-reflecterende laag (voorzijde van het display). Nadat de twee glazen platen op de juiste afstand van elkaar zijn gebracht en het vloeibaar kristallijne medium is aangebracht wordt de constructie luchtdicht afgesloten met een afdichting, meestal een prop indium.

De elektrische werking
De elektrische werking van een nematisch liquid crystal display volgt uit onderstaande figuur. Als het LCD-segment niet onder spanning staat dan zullen alle moleculen van de vloeibaar kristallijne stof evenwijdig geordend staan. Het licht kan tussen de sigaarvormige moleculen zijn weg vervolgen, het segment is transparant. Wel is het zo dat de evenwijdig gerichte moleculen het golffront van de elektromagnetische velden in één richting dwingt. Het uittredende licht is gepolariseerd, de richting van alle velden is gelijk.
Als het segment wordt aangesloten op een wisselspanning van voldoende grootte, dan zal de evenwijdige structuur van de moleculen verbroken worden. Het elektrisch veld veroorzaakt krachten op de moleculen, het gevolg is dat de stof in een *'hydrodynamische turbulentie'* terecht komt. De nematische ordening van de moleculen blijft slechts bestaan binnen zeer kleine gebieden van de stof.
Deze gebieden zijn slechts enige µm² groot. Door de turbulentie in de stof zullen deze gebieden wel steeds kleiner en groter worden, waardoor er steeds andere grensvlakken ontstaan. Het licht zal nu tussen deze willekeurig gerichte en steeds variërende grensvlakken volledig verstrooid worden. Het gevolg is dat het segment niet-transparant wordt.

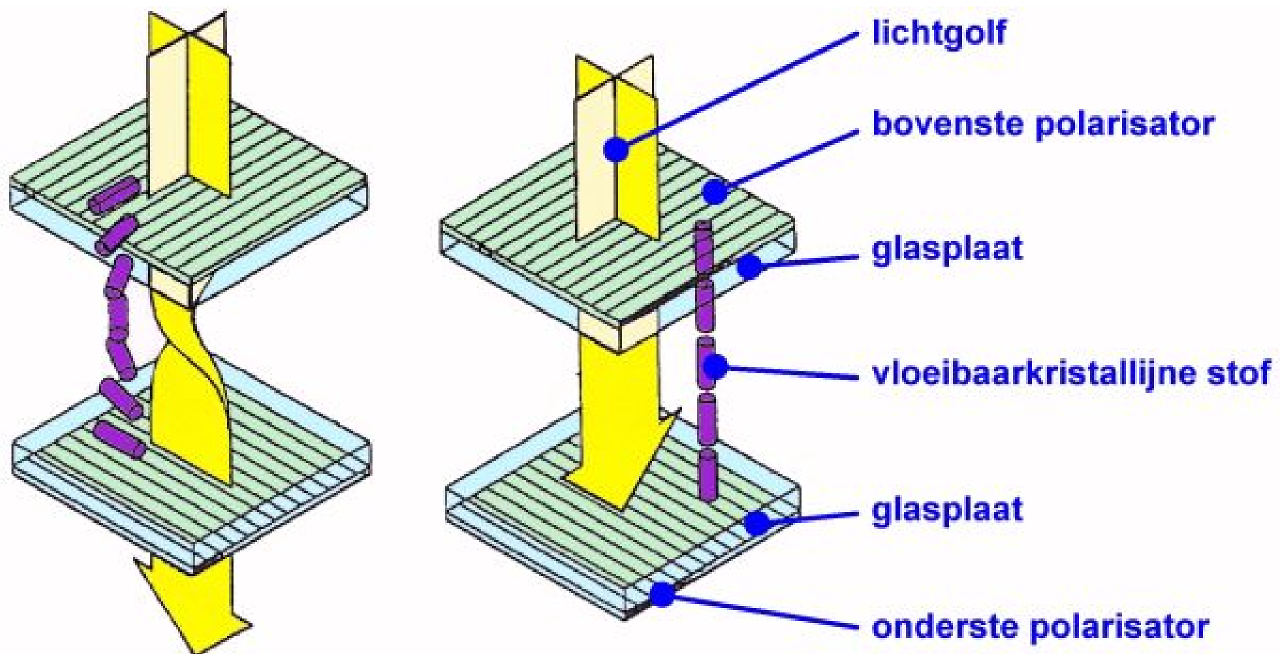


De elektrische werking van een nematisch LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

DSM-LCD's
Vanwege het steeds wisselende, dus dynamische, gedrag in de stof worden deze display's ook wel DSM-LCD's genoemd. Dat letterwoord staat voor *'Dynamic Scattering Mode'*, vrij vertaald een methode voor het dynamisch verstrooien van de moleculen.

Het cholesterisch of twisted nematisch LCD
Bij deze display's wordt gebruik gemaakt van vloeibaar kristallijne stoffen die een cholesterische zone hebben. Zoals uit onderstaande figuur blijkt is de samenstelling in grote lijnen identiek aan deze van de DSM-LCD's. Te herkennen zijn de twee glazen plaatjes en de

molecuulstructuur van de cholesterische vloeistof kristallijne stof. Groot verschil is echter dat de twee glazen plaatjes aan de buitenzijde voorzien zijn van polarisatoren. Dat zijn kunststoffolies die tot eigenschap hebben dat zij golfvormen van slechts één richting doorlaten. Bovendien staan de twee polarisatoren loodrecht op elkaar.



De elektrische werking van een cholesterisch LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

In niet geactiveerde toestand (linker tekening) zullen de golfvormen die door de bovenste polarisator doorgelaten worden en allemaal in de lengterichting van de bovenste moleculen liggen zich langs de wenteltrapstructuur van de moleculen voortplanten. Het gevolg is dat de golffronten over 90° gedraaid worden en via de onderste glasplaat en de onderste polarisator het liquid crystal display weer verlaten. Deze polarisator is immers ook over 90° gedraaid ten opzichte van de bovenste. Als het segment wordt aangesloten op een wisselspanning van voldoende grootte zullen de moleculen als gevolg van de grote spanning zich allemaal in een lijn gaan opstellen die loodrecht staat ten opzichte van de glazen plaatjes (rechter tekening). Het gevolg is nu dat de golffronten van het licht zich langs de moleculen gaan voortbewegen en niet meer gedraaid worden. Zij worden dus niet doorgelaten door de onderste polarisator. Het segment wordt niet-transparant, er word geen licht doorgelaten.

Andere benamingen

Dit soort liquid crystal display's gaat door het leven onder verschillende benamingen:

- Het cholesterisch LCD.
- Het twisted nematisch LCD.
- Het Schadt-Helfrich LCD.
- Het TN-FEM LCD, afkorting van *'Twisted Nematic Field Effect Mode'.*

Vergelijking van de eigenschappen

Het nematisch LCD heeft als groot voordeel dat er geen polarisatoren moeten worden toegepast, hetgeen kostenverlagend werkt. Bovendien is het mogelijk zeer grote actieve oppervlakken te maken omdat het uitrichten van de moleculen door etsing van het sandwich-glas fysisch geen problemen stelt. Men is er al in geslaagd nematische uitlezingen te maken met een actief oppervlak van niet minder dan 25 cm² bij 25 cm². Dergelijke grote elementen zijn natuurlijk uitermate geschikt voor het samenstellen van grootbeeld-display's in stadia en dergelijke. Groot nadeel van deze display's is echter dat er in matrix-typen, dus liquid crystal display's die bestaan uit een groot aantal dicht bij elkaar gelegen kleine puntjes of segmenten, overstraling kan optreden. Dat wil zeggen dat als één punt van de matrix donker wordt gestuurd de vier om dat ene punt liggende punten ook een beetje verduisterd worden. Cholesterische LCD's hebben over het algemeen gunstigere elektrische eigenschappen. Het tabelletje dat in onderstaande figuur is opgenomen spreekt wat dit aspect betreft duidelijke

taal.

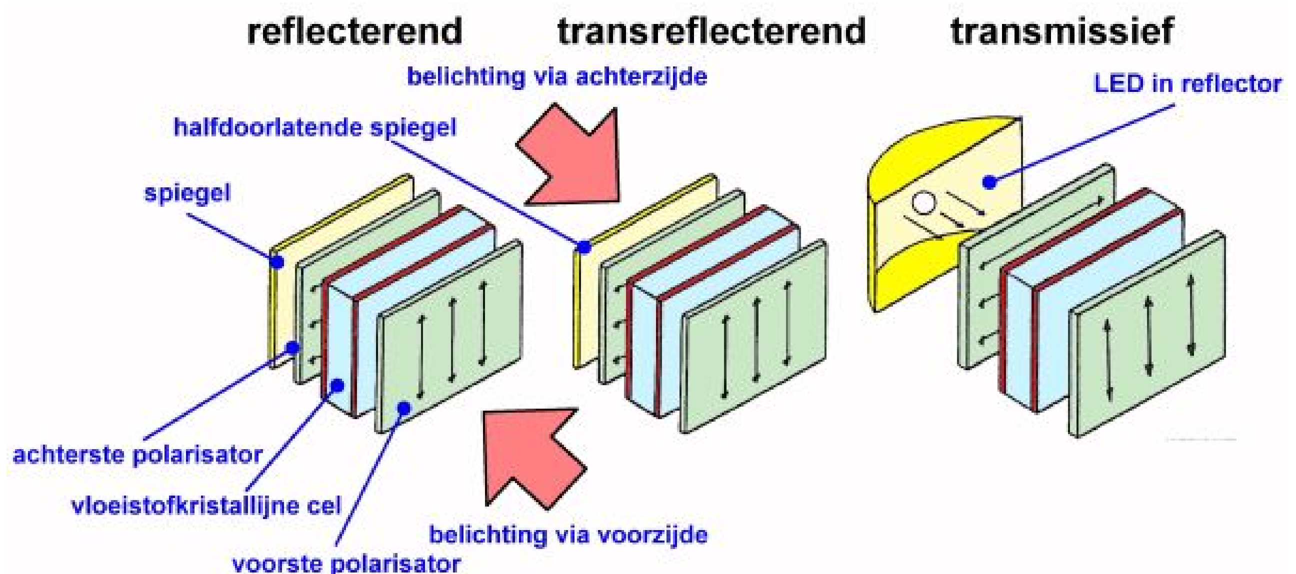
ELEKTRISCHE SPECIFICATIE	NEMATISCH	CHOLESTERISCH
Aanspreekspanning	15 V ~ 40 V	1 V ~ 10 V
Stroom per cm²	10 µA	1 µA ~ 4 µA
Vermogensverbruik	100 µW ~ 1.000 µW	1 µW ~ 10 µW
Stuurfrequentie	50 Hz ~ 150 Hz	50 Hz ~ 1.500 Hz
Inschakeltijd	100 ms	100 ms
Uitschakeltijd	500 ms	300 ms

Vergelijking van de elektrische specificaties van beide typen LCD's.
(© 2018 Jos Verstraten)

Het belichten van liquid crystal display's
LCD's zijn per definitie statische uitlezingen. Dat wil zeggen dat zij zelf geen licht uitstralen, maar alleen werken door reflectie van opvallend licht of doorlaten van achtergrond licht.
Er bestaan drie praktische uitvoeringsvormen voor het belichten van liquid crystal display's:

- Reflecterende LCD's.
- Transreflecterende LCD's.
- Transmissieve LCD's.

Deze drie uitvoeringsvormen zijn schematisch voorgesteld in de onderstaande figuur.



De drie manieren waarop een LCD aangelicht kan worden. (© 2018 Jos Verstraten)

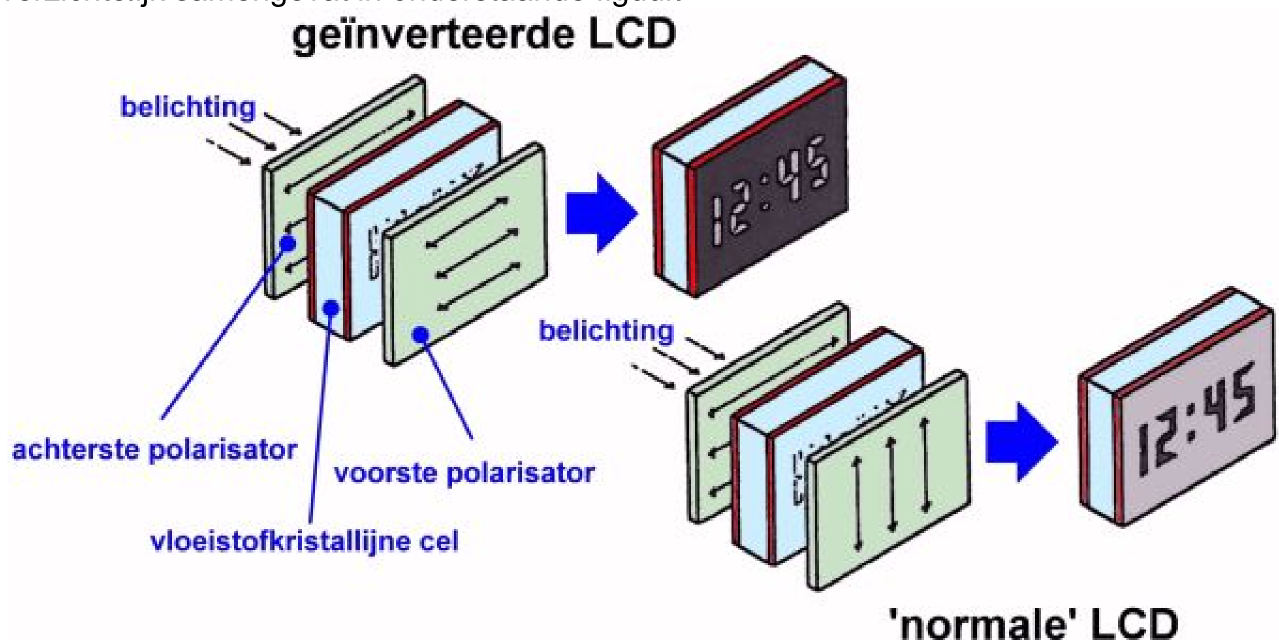
Reflecterende LCD's
Zoals uit de linker tekening blijkt worden deze display's aan de achterzijde voorzien van een spiegelend oppervlak. Deze onderdelen werken dus alleen maar met terugkaatsing van het invallend omgevingslicht. Dit wordt zo goed als onverzwakt doorgelaten door het niet onder spanning staand gedeelte van het display. Het licht dat invalt op de elektrische actieve segmenten wordt verstrooid. Het kleine deel dat de spiegel bereik wordt bij zijn tweede doorgang volledig onderdrukt. Deze display's zijn de standaard display's die u tegenwoordig in iedere digitaal polshorloge aantreft. Zij worden gekenmerkt door een typisch loodgrijze kleur voor het transparante deel en een diepzwarte kleur voor het absorberende deel.

Transreflecterende LCD's
Nu wordt als reflector (zie middelste tekening) een half doorlatende spiegel gebruikt. Het resultaat is een display dat zowel van de voorzijde als van de achterzijde belicht kan worden. Met een simpele elektronische regelschakeling kan een back-plane verlichting ingeschakeld worden als de intensiteit van het omgevingslicht onder een bepaalde drempel valt. Deze display's zijn dus zowel overdag als 's nachts uit te lezen en verbruiken alleen extra stroom

voor de achterzijde belichting als dit echt noodzakelijk is.

Transmissieve LCD's
Deze onderdelen werken alleen met belichting via de achterzijde. Er is dus geen reflecterende laag aanwezig. Achter het display is een lichtbron opgenomen, zie rechter tekening. Dat kan een LED zijn of een fluorescerende laag die als voordeel heeft dat er nauwelijks elektrisch vermogen wordt verbruikt.

Geïnverteerde LCD's
Bij de tot nu toe beschreven structuur van cholesterische liquid crystal display's is uitgegaan van twee polarisatoren die loodrecht op elkaar staan. Het gevolg is dat de onder spanning staande delen van de uitlezing zwart zijn (absorptie) en de niet onder spanning staande delen transparant zijn. Het is echter mogelijk deze effecten om te draaien door beide polarisatoren in dezelfde richting aan te brengen. Delen van de uitlezing die dan niet onder spanning staan zullen absorberen, de onder spanning staande delen worden transparant. U kunt dan dus transparante segmenten of pictogrammen tegen een zwarte achtergrond verkrijgen, iets dat de leesbaarheid kan bevorderen. Deze twee verschillende uitvoeringsvormen zijn nog eens overzichtelijk samengevat in onderstaande figuur.

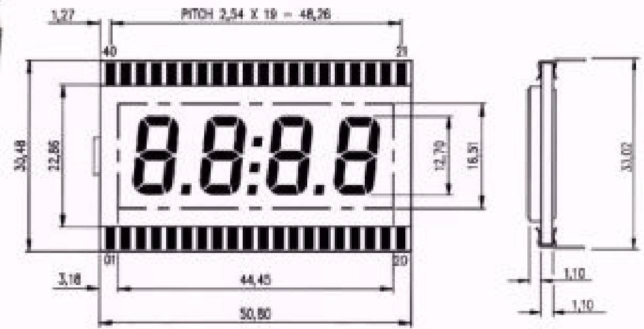


Vergelijking van een geïnverteerd LCD met een 'normaal' LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

Praktische uitvoeringsvormen van monochrome LCD's

Het zeven-segment display
Het zeven-segment display is het meest bekende liquid crystal display en wijkt in elektrische functie nauwelijks af van soortgelijke display's die met LED's zijn uitgevoerd. Ook deze uitlezingen hebben een gemeenschappelijke aansluiting voor alle segmenten. Maar er is nu uiteraard geen sprake van een gemeenschappelijke anode (CA) of gemeenschappelijke kathode (CC), maar van een back-plane. Dit wordt bij alle fabrikanten gecodeerd met de letters 'BP' of 'COM'. In onderstaande figuur zijn als voorbeeld de aansluitingen gegeven van het DE-119-RS-20 reflectieve LCD-display, dat bestaat uit vier digits, decimale punten en twee extra punten, bijvoorbeeld voor het indiceren van de seconden bij een digitale klok. Dit display kunt u voor ongeveer € 3,60 bij de bekende kanalen aanschaffen.



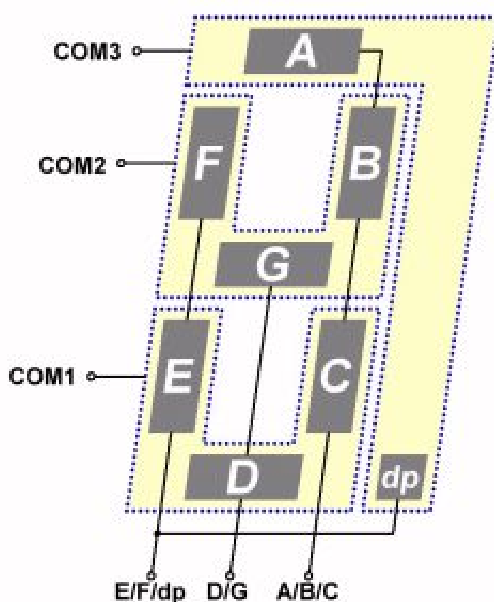


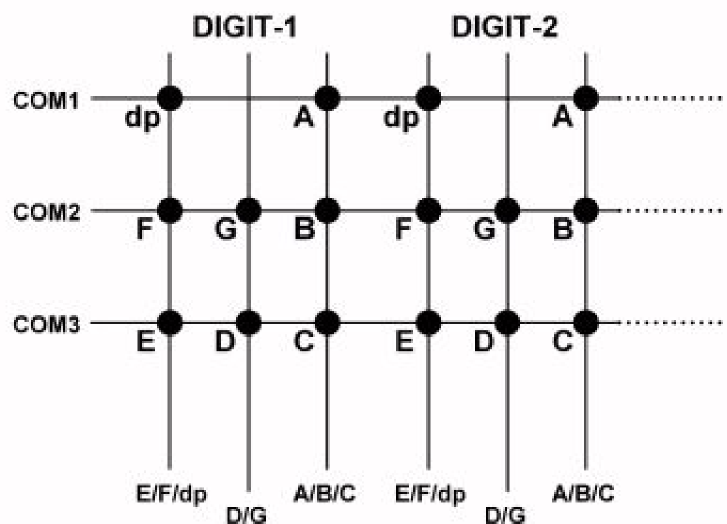
SEG.	4A	4F	4G	3B	3A	3F	3G	COL	2B	2A	2F	2G	NC	1B	1A	1F	1G	NC	NC	BP
PIN#	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SEG.	BP	NC	NC	NC	1E	1D	1C	DP1	2E	2D	2C	DP2	3E	3D	3C	DP3	4E	4D	4C	4B
PIN#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Het standaard zeven-segment LCD voor gebruik in klokken, etc. (© 2018 Jos Verstraten)

Meer back-planes

Als het aantal cijfers toeneemt zal men in de meeste gevallen werken met verschillende back-planes. Het is dan niet zo dat ieder cijfer een eigen BP heeft, zoals dat wel geldt bij LED-indicatoren (vervang dan uiteraard BP door CA of CC). Deze display's worden altijd gemultiplexed gestuurd, waarbij de verschillende BP's op een zeer ingewikkelde manier samen met de segmenten uit maar enkele lijnen worden aangestuurd. Als voorbeeld wordt in onderstaande figuur een matrix-structuur getekend die vaak wordt toegepast bij zeven-segment display's die uit acht cijfers bestaan. Ieder cijfer is aangesloten op drie back-planes. De segmenten C, D en E zijn verbonden met het eerste back-plane, hier COM1 genoemd. De segmenten B, G en F gaan naar COM2 en het segment A gaat samen met de decimale punt DP naar COM3. Deze drie back-planes vormen uiteraard de achterste elektroden van de sandwich-constructie elektroden, vloeibaar kristal en elektroden.
De voorste elektroden van de segmenten zijn op een andere manier met elkaar verbonden. De voorste elektroden van de segmenten A, B en C hangen aan elkaar, evenals de elektroden van de segmenten G en D en deze van de segmenten E, F en DP. Een en ander kan als een matrix getekend worden (zie rechter figuur), die is samengesteld uit drie verticale en drie horizontale lijnen. Alle segmenten liggen op de snijpunten van deze matrix.





De aansturing van LCD's met meerdere cijfers en back-planes. (© 2018 Jos Verstraten)

Het symbolen-display

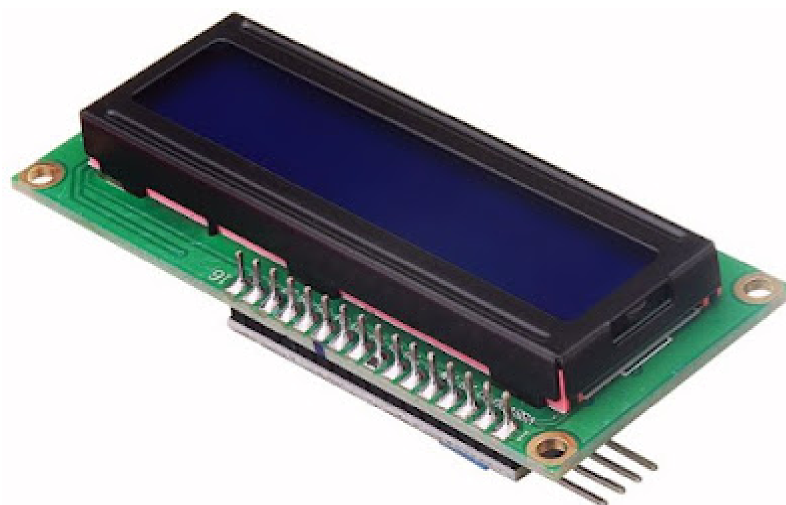
Omdat liquid crystal display's in iedere gewenste vorm kunnen worden gefabriceerd zijn zij

ideaal voor zeer speciale indicatie toepassingen in allerlei soorten apparatuur, zoals in het dashboard van een auto. Op zo'n LCD-paneel zijn tal van alarmpictogrammen verenigd, zoals remvloeistof, oliepeil, accu-conditie, brandstofniveau en watertemperatuur. Ook de meeste digitale universeelmeters hebben een speciaal voor dat ene apparaat ontworpen LCD met diverse symbolen en teksten die individueel aangestuurd kunnen worden.



Het speciale LCD van een digitale universeelmeter met diverse symbolen.
(© 2018 Jos Verstraten)

Alfanumerieke LCD's
De alfanumerieke LCD-panelen hebben de laatste jaren een grote vlucht genomen. Er zijn betaalbare panelen met een capaciteit van 8 regels van ieder 20 karakters beschikbaar. Ieder karakter is opgebouwd uit een matrix van 5 bij 7 puntjes. In totaal heeft zo'n paneel dus 20 ● 8 ● 7 ● 5 = 5.600 puntjes die individueel aangestuurd moeten worden!
Het zal duidelijk zijn dat dergelijke complexe indicatoren niet meer met zelf te ontwerpen elektronica aangestuurd kunnen worden. Deze panelen worden dan ook altijd geleverd als complete unit met ingebouwde besturingselektronica. Deze panelen zijn aan te sturen uit een microprocessor met behulp van acht bit lange woorden via een serieel protocol zoals I²C.
Het in onderstaande foto weergegeven beroemde LCD-paneel 1602 is momenteel te koop voor minder dan € 3,00, bevat twee regels met ieder 16 karakters en is uitgerust met een blauwe achtergrondverlichting.



Het spotgoedkope alfanumerieke LCD-paneel 1602. (© Banggood)

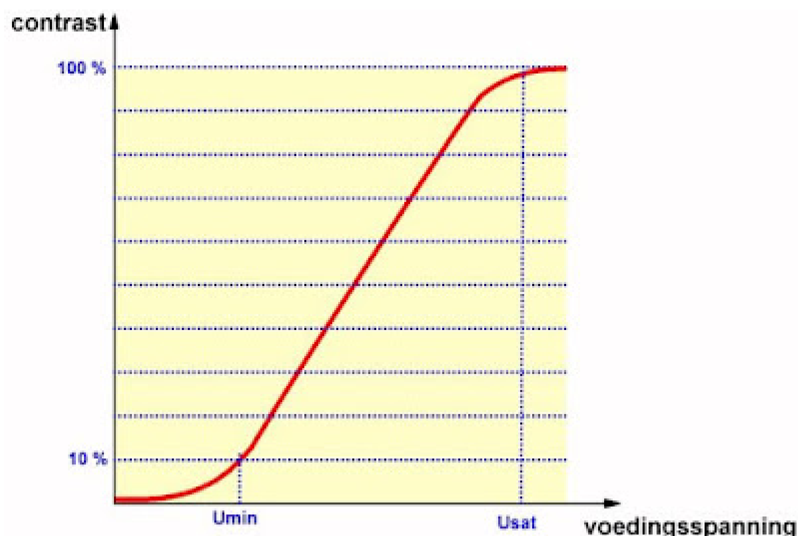
Technische eigenschappen van LCD's

Het contrast
Het contrast is bij liquid crystal display's wat de helderheid is bij LED's. Met contrast wordt in het algemeen de lichtverhouding bedoeld. Bij LCD's is dit de verhouding tussen de transparantie in in- en uitgeschakelde toestand bij gelijkblijvende externe belichting en

gelijkblijvende waarnemingshoek. Bij de meeste LCD-uitlezingen ligt deze factor tussen de 1/10 en de 1/20. Ongeveer vergelijkbaar met het contrast van een op een wit vel papier getypte tekst met een ouderwets schrijfmachine met goed inktlint.
Het contrast is van een aantal factoren afhankelijk:

- De voedingsspanning.
- De temperatuur.
- De waarnemingshoek.

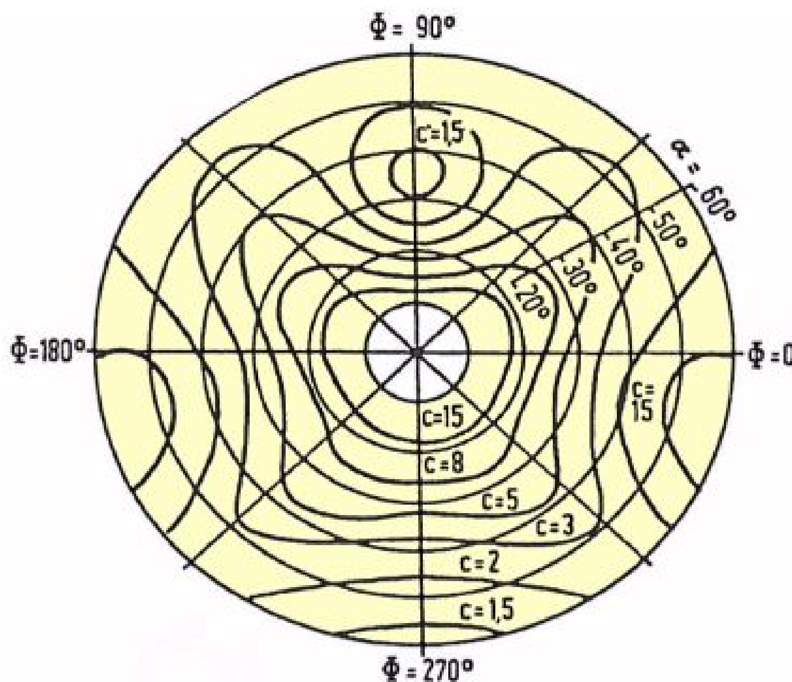
Contrast contra voedingsspanning
Het zal duidelijk zijn dat er een bepaalde veldsterkte noodzakelijk is tussen de elektroden alvorens het contrast maximaal is. Dat verband is gegeven in de grafiek van onderstaande figuur. Uit deze grafiek kunt u afleiden dat de moleculen van de vloeistof kristallijne stof niet allemaal in één keer polariseren, maar na elkaar. Naarmate de spanning stijgt zullen steeds meer moleculen gedwongen worden hun natuurlijke oriëntatie op te geven.
Er bestaat een bepaalde spanningsdrempel U_{min}, waaronder de veldsterkte te gering is om moleculen uit hun patroon te dwingen. Het contrast is dan nul. Deze drempel ligt rond de ⅓ van de spanning die nodig is om maximaal contrast op te wekken. Een belangrijke eigenschap die gebruikt wordt bij het besturen van liquid crystal display's! Er bestaat ook een maximale drempel U_{sat} waarbij alle moleculen van de stof uit hun patroon zijn verdreven. Het contrast is dan maximaal en het heeft geen zin de voedingsspanning te verhogen.

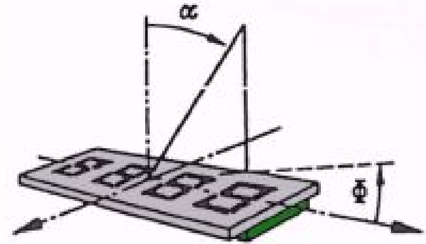


Het verband tussen het contrast en de voedingsspanning. (© 2018 Jos Verstraten)

Contrast contra temperatuur
Bij stijgende temperatuur wordt het maximale contrast al bij een lagere voedingsspanning bereikt. De bovenstaande grafiek verschuift dan naar links en wordt steiler. De drempel U_{min} wordt bijgevolg ook kleiner, een factor waar u bij meerstaps multiplex besturing terdege rekening mee moet houden.

Contrast contra waarnemingshoek
Omdat liquid crystal display's per definitie in één richting gepolariseerd licht doorlaten of terugkaatsen is de waarnemingshoek vrij kritisch. Kijk maar eens naar een polshorloge met LCD-uitlezing. Naarmate u schuiner naar de uitlezing kijkt zult u vaststellen dat de geactiveerde donkere segmenten steeds minder duidelijk als dusdanig waarneembaar zijn. Kijkt u erg schuin, dan zullen deze segmenten zelfs weer transparant lijken!
Deze afhankelijkheid wordt gedefinieerd door de zogenaamde *'isostaatcurves'*. Dat zijn curves die ontstaan door alle waarnemingspunten met hetzelfde contrast met elkaar te verbinden. In onderstaande figuur is de isostaatbundel van een typisch liquid crystal display getekend in functie van de twee waarnemingshoeken α en Φ. In het algemeen kunt u stellen dat een waarnemingshoek van 160° is toegestaan als u zich houdt aan een minimale contrastverhouding van 1/3. Dat lijkt weinig, maar het menselijke oog heeft een maximale contrastomvang van slechts 1/10.





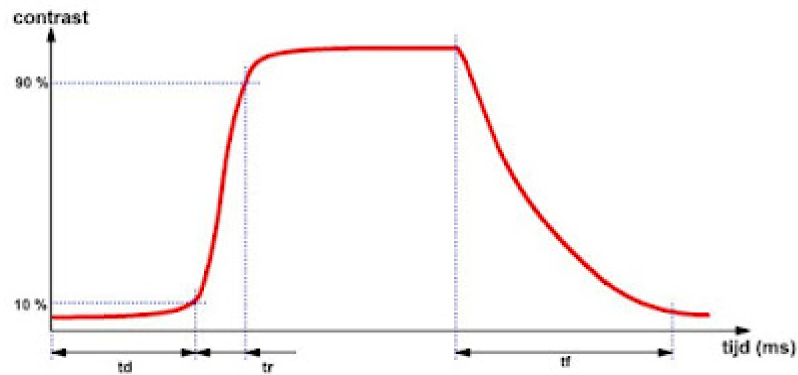
De isostaatcurves van een LCD in functie van beide waarnemingshoeken. (© 2018 Jos Verstraten)

De voedingsspanning van LCD's

Tegenwoordig worden liquid crystal display's ontworpen voor voedingsspanningen van 1,5 tot 20 $V_{effectief}$. De term *effectief* duidt op het gegeven dat u liquid crystal display's met wisselspanningen moet voeden. Omdat in de meeste gevallen pulssturing wordt toegepast en de effectieve waarde de enige echt definieerbare grootheid van zo'n puls is wordt de voedingsspanning van een LCD steeds als effectieve waarde uitgedrukt. De meeste standaard LCD's worden tegenwoordig ontworpen voor een maximaal contrast bij een pulsspanning van 4,5 V, zodat compatibiliteit met TTL-schakelingen gegarandeerd is. Het heeft geen zin hogere spanningen te gebruiken, het enige resultaat is dat de levensduur van het liquid crystal display aanmerkelijk verkort wordt.

De schakeltijden van LCD's

Het is algemeen bekend dat liquid crystal display's zeer langzaam zijn. Als u een segment onder spanning zet duurt het een bepaalde tijd alvorens het display reageert. Hetzelfde geldt bij het uitschakelen. Beide verschijnselen zijn samengevat in de grafiek van onderstaande figuur. Bij het inschakelen van een segment zal er eerst een tijd t_d verstrijken alvorens het segment reageert. Deze vertraging ligt rond 50 ms. Nadien stijgt het contrast in ongeveer 35 ms van 10 tot 90 %. U kunt dit de stijgtijd t_r van een LCD noemen. Bij het uitschakelen stelt u geen vertraging vast. Het wegvallen van het contrast verloopt echter ook relatief traag, de daaltijd t_f van een LCD bedraagt gemiddeld 110 ms.
Deze tijden zijn in grote mate afhankelijk van de voedingsspanning en de bedrijfstemperatuur. Verhoogt u de voedingsspanning dan stelt u vast dat de inschakeltijd aanzienlijk korter wordt, maar dat de uitschakeltijd nauwelijks beïnvloed wordt.
Wat de invloed van de temperatuur op de snelheid van een liquid crystal display betreft kan in het kort gesteld worden dat zowel de in- als de uitschakeltijden veel korter worden naarmate de bedrijfstemperatuur toeneemt. De zeer lange schakeltijden bij lage temperaturen stellen een eerste grens aan het werkbare temperatuurbereik van een liquid crystal display.

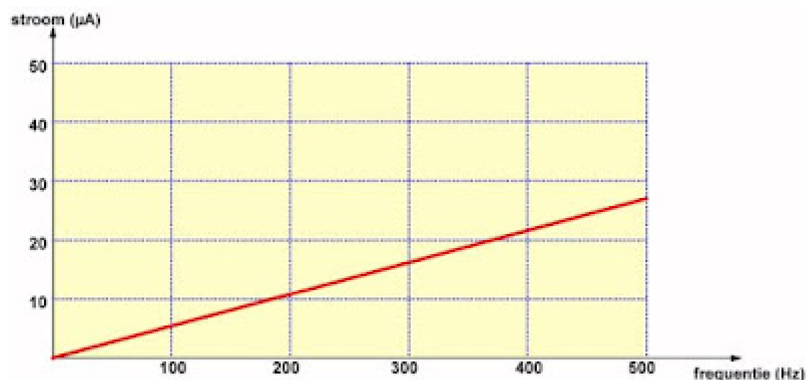


Het contrast in functie van de in- en uitschakeltijden. (© 2018 Jos Verstraten)

De bedrijfstemperatuur van een LCD
De vloeibaar kristallijne eigenschappen van de stof treden in een zeer beperkt temperatuurbereik op tussen het smelt- en het helderheidspunt. Deze twee fysische grenzen bepalen het bruikbare temperatuurgebied van een liquid crystal display. Het is mogelijk stoffen toe te passen die bruikbaar zijn tussen -40 °C en +85 °C. De onderste grens wordt dan echter eerder bepaald door de zeer trage schakeltijden van de stof dan door het smeltpunt. Bij -25 °C moet u rekening houden met schakeltijden in de grootte-orde van een seconde voor het inschakelen en verschillende seconden voor het uitschakelen.

De levensduur van LCD's
Liquid crystal display's hebben jarenlang op dat gebied een zeer slechte naam gehad. Niet geheel ten onrechte, want in de begintijd waren er nogal wat problemen met de bestendigheid van de vloeistof kristallijne stof tegen ultraviolette straling (zonlicht). Ook traden er verontreinigingen op in de stof als gevolg van niet ideale lijm- en afdichtingstechnieken. De eerste generatie LCD's hielden het meestal niet langer dan twee jaar uit. De moderne liquid crystal display's hebben echter een gegarandeerde levensduur van 50.000 uur, hetgeen overeen komt met zes jaar ononderbroken gebruik.

Het opgenomen vermogen
Bij de vergelijking van de eigenschappen van nematische en cholesterische LCD's is reeds iets geschreven over het opgenomen vermogen. Omdat een liquid crystal display met wisselspanning wordt aangestuurd en een voornamelijk capacitieve belasting vormt heeft echter ook de frequentie van het stuursignaal een invloed op het opgenomen vermogen. In de onderstaande figuur is dat verband uitgezet voor een standaard zeven-segment LCD die wordt aangestuurd met een blokspanning van 2 $V_{top\text{-}tot\text{-}top}$.



Het verband tussen de frequentie van het stuursignaal en de stroomopname van een zeven-segment LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

Het aansturen van LCD's

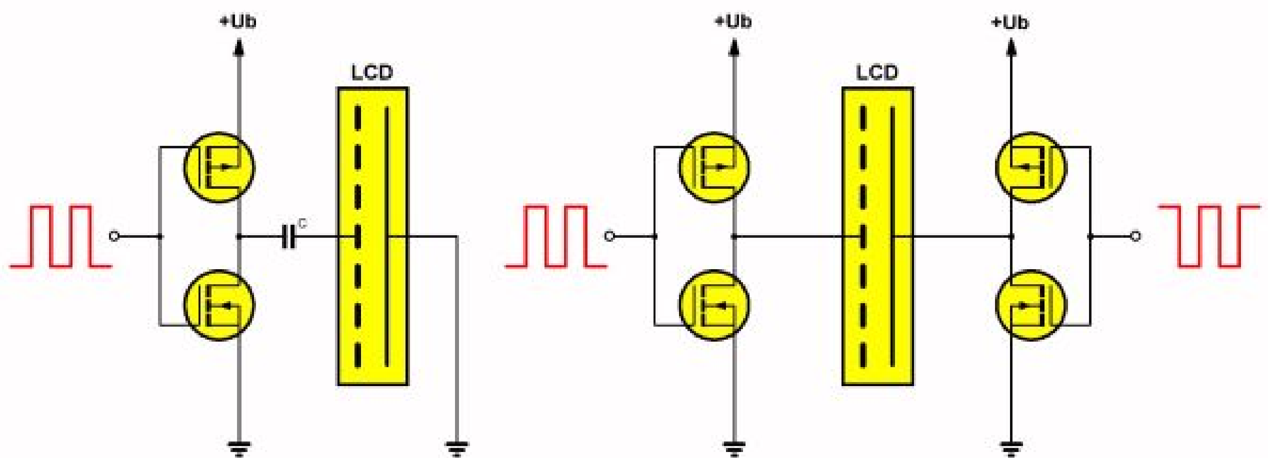
Inleiding

U mag liquid crystal display's nooit met gelijkspanningen aansturen! Weliswaar is de elektrische geleiding zo laag dat u een LCD voornamelijk door een capacitieve belasting kunt voorstellen, maar de vloeistof kristallijne stof is toch geen zuivere isolator. De kleine gelijkstroom die door de sandwich gaat vloeien heeft tot gevolg dat de vloeistof kristallijne stof een elektrolyse gaat ondergaan. Net zoals u water door er gelijkstroom doorheen te sturen kunt ontleden in de elementen waterstof en zuurstof zal de elektrische stroom de vloeistof kristallijne stof ontleden in zijn samenstellende elementen. Reeds na enige uren gaan de prestaties van het liquid crystal display merkbaar achteruit.
Dit verschijnsel is zo bepalend dat alle fabrikanten voorschrijven dat het gelijkspanningsaandeel in het stuursignaal niet groter mag zijn dan 50 mV. Als u met blokpulsen stuurt worden dus zeer hoge eisen gesteld aan de symmetrie van dat signaal. Is de 'H'-periode iets groter of kleiner dan de 'L'-periode, dan zal het signaal een resulterende gelijkspanning bevatten en zal de levensduur van het LCD in niet geringe mate verminderen.

Aansturing met blokspanning
Omdat in de meeste praktische toepassingen alleen een gelijkspanning voorhanden is, zult u met behulp van een oscillator een blokgolf moeten produceren. Dit is echter niet voldoende. Deze blokgolf wisselt tussen de voedingsspanning en de massa en bevat dus nog steeds een gelijkspanning die gelijk is aan de helft van de voedingsspanning. U zult dus op de een of andere manier deze blokspanning die schommelt tussen +Ub en de massa moeten omvormen in een blokspanning die varieert tussen +½Ub en -½Ub.
De frequentie van deze blokgolf wordt aan de lage kant begrensd door het knipperen van de uitlezing. Vanwege de traagheid van een LCD hebt u daar in de praktijk echter erg weinig last van en kunt u al werken met een frequentie van 30 Hz. Aan de hoge kant speelt de capacitieve belasting van het LCD een rol. De capaciteit van een LCD van 8 mm cijferhoogte en zeer hoogwaardige vloeistof kristallijne stof bedraagt ongeveer 150 pF. Deze waarde loopt op tot 4 nF bij een cijferhoogte van 25 mm en standaard vloeistof kristallijne stof.
Bij zeer kleine uitlezingen kunt u werken met frequenties tot 1 kHz. Bij grotere uitlezingen is het echter niet zinvol met meer dan 100 Hz aan te sturen. De belasting van de stuurschakelingen wordt alleen maar groter, hetgeen schakeltechnische problemen kan veroorzaken.

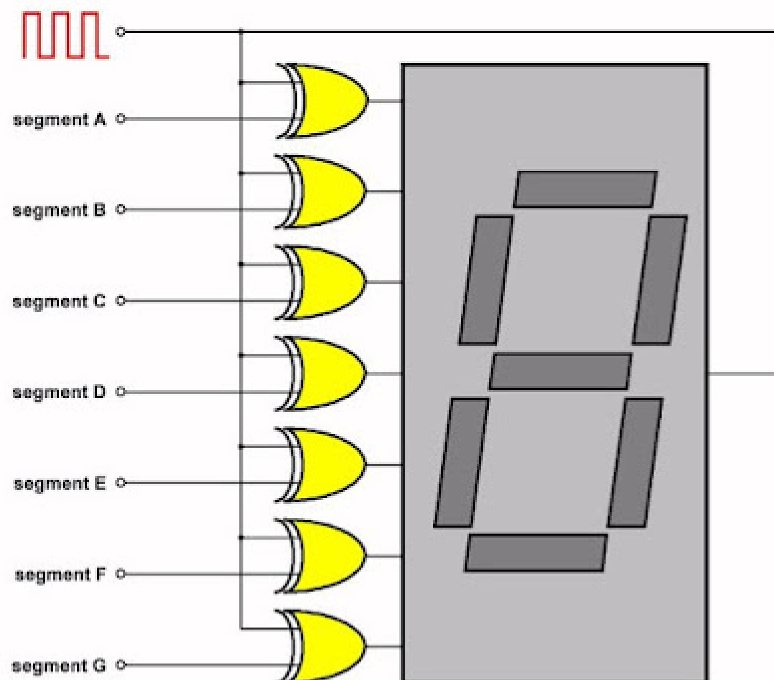
Aansturen van individuele symbolen uit LCD's
Hebt u in de praktijk te maken met enkelvoudige LCD's, zoals symbolen die aan of uit moeten worden geschakeld, dan kunt u rechtstreeks aansturen met een blokgolf. U moet dan echter de gelijkspanning blokkeren en dat kan met een van de schakelingen die in onderstaande figuur zijn getekend. In de linker figuur wordt het back-plane van het LCD aan de massa gelegd. De blokgolf wordt via een complementaire CMOS-eindtrap en via een scheidingscondensator aan de voorste elektrode van het LCD aangeboden. De topwaarde van de wisselspanning die aan het LCD wordt aangeboden is gelijk aan de helft van de voedingsspanning van de schakeling. De complementaire eindtrap is noodzakelijk om er zeker van te zijn dat de impedantie van de blokgolf zowel voor 'H' als voor 'L' constant is. Zou dit niet het geval zijn, dan zou de RC-kring die gevormd wordt door de uitgangsimpedantie van de stuurschakeling en de scheidingscondensator twee verschillende tijdconstanten hebben, waardoor er toch nog een gelijkspanningscomponent zou ontstaan. Complementaire CMOS-schakelingen hebben een constante uitgangsimpedantie van ongeveer 400 Ω en deze schakelingen voldoen dus uitstekend voor dergelijke toepassingen.
Het is uiteraard ook mogelijk gebruik te maken van gebufferde NAND- of NOR-poorten uit de CD-serie. De tweede ingang van deze poort kan dan gebruikt worden voor het in- en uitschakelen van het LCD.
Omdat condensatoren grote en dure onderdelen zijn kunt u natuurlijk veel beter gebruik maken van de rechter schakeling. Zowel de voorste elektrode als het back-plane worden gestuurd uit een complementaire eindtrap. Beide schakelingen moeten nu door ten opzichte van elkaar geïnverteerde blokgolven worden gestuurd. Dit systeem is een beetje te vergelijken met de brugbesturing van luidsprekers in laagfrequent versterkers. Door de aansturing in tegenfase van de twee elektroden zal de ene op massapotentiaal staan als de andere op +Ub staat en vice versa.Hoewel op beide elektroden een gelijkspanning van +½Ub aanwezig is zal over het LCD dus geen gelijkspanning staan. Over de elektroden staat een

wisselspanning waarvan de topwaarde nu gelijk is aan de grootte van de voedingsspanning.



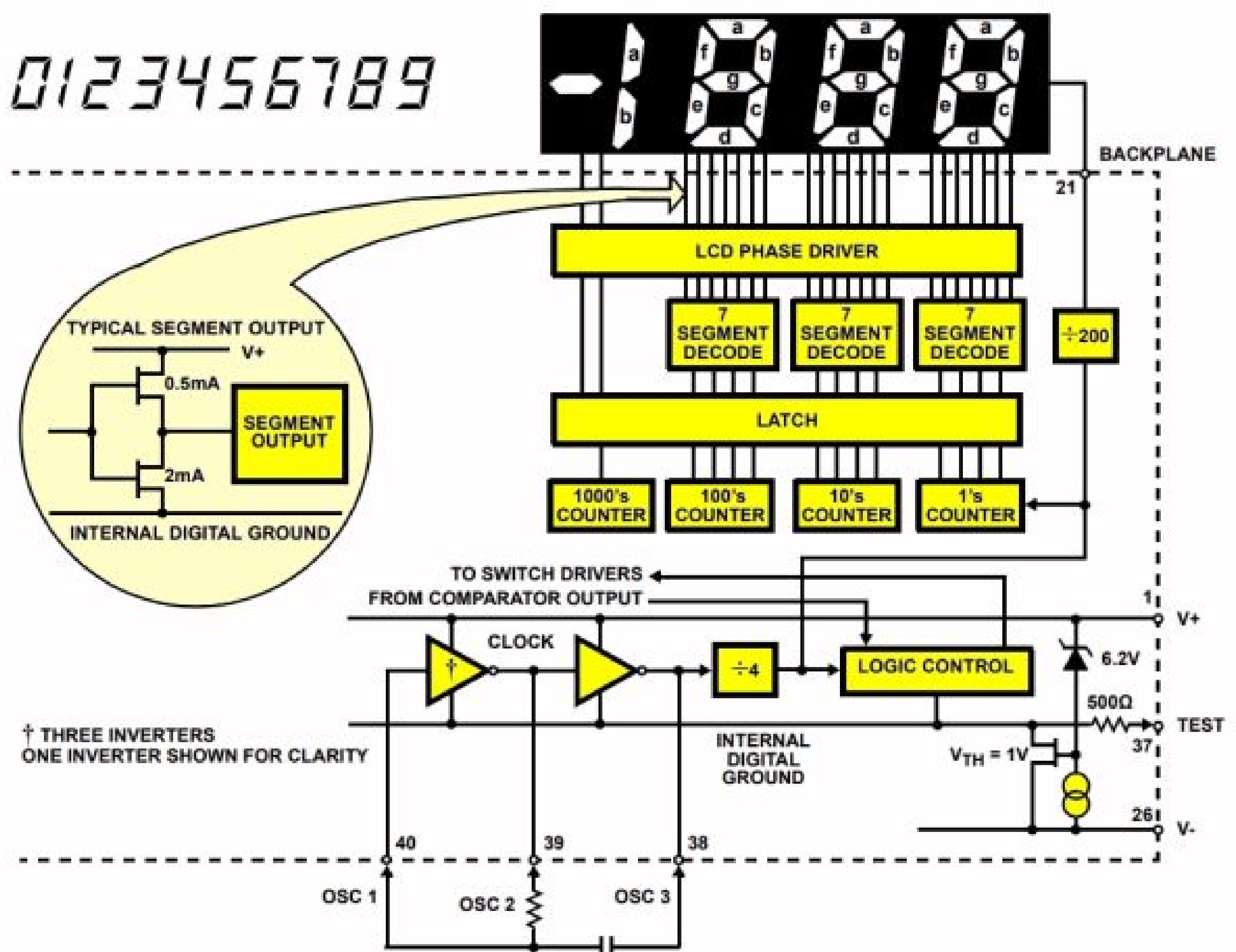
Het aansturen van één symbool uit een LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

Statische aansturing van zeven-segment LCD's
Bij de statische aansturing van zeven-segment display's, zoals bij digitale universeelmeters en frequentiemeters, wordt in principe van hetzelfde systeem gebruik gemaakt. Door een schakeltechnische handigheid wordt echter het aantal noodzakelijke poorten drastisch beperkt. Het principe is getekend in onderstaande figuur. Het back-plane wordt rechtstreeks gestuurd met een vierkantsgolf die varieert tussen +Ub en de massa. Hetzelfde signaal wordt toegevoerd aan één ingang van EXOR-poorten. De uitgangen van deze poorten sturen de voorste elektroden van de segmenten. De tweede ingangen van de EXOR-poorten zijn de besturingsingangen van het display die bepalen of een segment wel of niet geactiveerd wordt. In veel IC's die ontwikkeld zijn voor het rechtstreeks aansturen van LCD's zijn deze poorten in het IC geïntegreerd. Moet u zélf een dergelijke schakeling samenstellen dan kunt u bijvoorbeeld gebruik maken van CD4030 of CD4070 IC's uit de CMOS-serie.
Afhankelijk van het logische signaal op de ingangen van de poorten verschijnt het blokgolfsignaal wel of niet geïnverteerd op de uitgangen van de poorten. Is een ingang 'L' dan zal de EXOR-poort de blokgolf op de tweede ingang niet-geïnverteerd op de uitgang zetten. Zowel de voorste als de achterste elektrode van het LCD-segment worden dan gestuurd met identieke spanningen, zodat er geen spanning over het segment staat. Het segment wordt dus niet geactiveerd. Is een ingang 'H', dan zal de EXOR-poort het bloksignaal inverteren. Het gevolg is dat de voorste elektrode van het segment in tegenfase wordt gestuurd ten opzichte van het back-plane. Over het segment staat een wisselspanning, waarvan de top-tot-top waarde gelijk is aan Ub.



De statische aansturing van een zeven-segment LCD. (© 2018 Jos Verstraten)

Geïntegreerde LCD-driver
Een bekend large-scale-integration IC dat u kunt gebruiken voor het aansturen van monochrome zeven-segment LCD's is de ICL7106, een drie-en-half decade digitale voltmeter met LCD-uitlezing. Zoals uit het intern blokschema van onderstaande figuur blijkt wordt het back-plane van het volledige display via een 200-deler gestuurd uit de klokgenerator van de chip. Op deze manier wordt de blokgolf opgewekt voor het sturen van het LCD. De segment-uitgangen (zie kadertje) hebben de reeds besproken complementaire structuur.



Het intern blokschema van de LCD-besturing in de ICL7106. (© Intersil)